

УДК 537.3, 621.316

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Лиляева А.А., студент гр.ЭПб-221, I курс

Янина Т.И., к.т.н., доцент

Научный руководитель: Мальшин А.А., к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В настоящее время в мире возрастает спрос на производство и использование накопителей электроэнергии. С помощью систем накопления электроэнергии (СНЭЭ) производится регулирование частоты и активной мощности, происходит компенсация несинусоидальности, несимметрии, повышение динамической устойчивости, они используются в качестве резерва, а также для разгрузки центров питания, выравнивание графика нагрузки и её снижение, при использовании накопителей в часы пиковой нагрузки и зарядки его в часы с наименьшим потреблением. Рынок накопителей разнообразен, они отличаются энергетическими и физическими показателями, областью использования, режимами работы [1].

На данный момент известно около 20 видов накопителей, общая мощность которых во всём мире составляет 122 ГВт [2]. Задача данной работы сравнить коэффициент полезного действия, только нескольких видов СНЭЭ, а именно гидроаккумулирующих электростанций, ванадиевых проточных аккумуляторов, твердотельных аккумулялирующих электростанций, накопителей водорода.

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) состоят из машинного зала, верхнего и нижнего бассейна, за счёт которых происходит накопление энергии. Электроэнергия вырабатывается за счёт перепада высот между бассейнами рис. 1. Вода, оказавшись в нижнем бассейне, вновь с помощью насосов оказывается в верхнем бассейне, этим ГАЭС отличается от ГЭС, таким образом, происходит циклическое использование воды и выработка энергии.

ГАЭС производят энергию за счёт преобразования потенциальной энергии воды в электрическую следующим образом, поток воды приводит в движение турбину, которая в свою очередь вращает генераторы, вырабатывающие электроэнергию для передачи по линиям высоковольтных передач.

При таком принципе выработки энергии происходит провал нагрузки ночью, в выходные и праздничные дни.

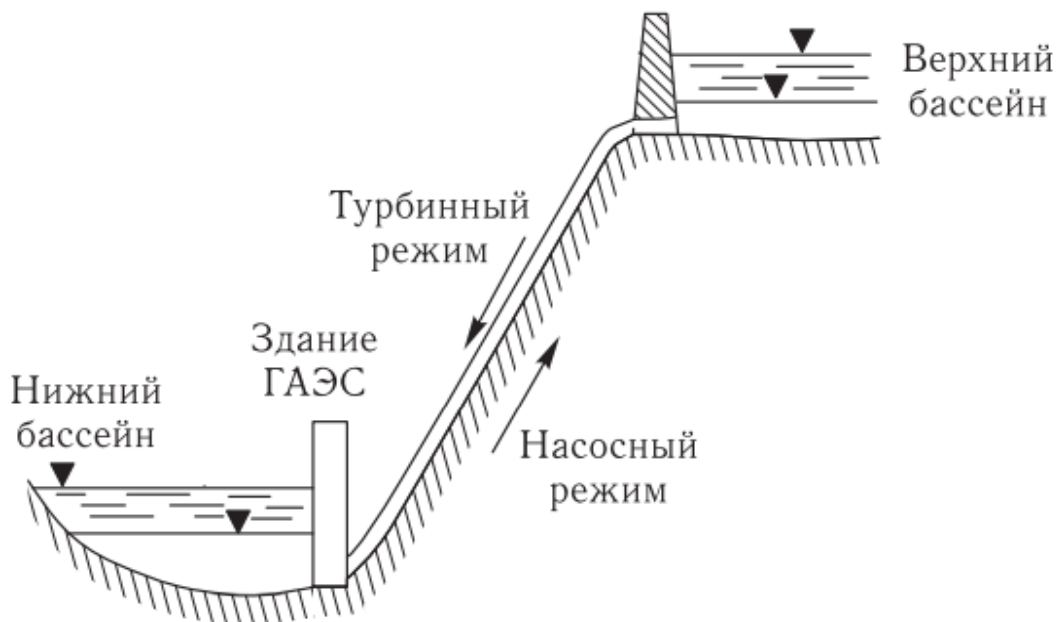


Рис. 1. Схема работы ГАЭС

Ванадиевые проточные аккумуляторы (ВПА) - электрохимические элементы, использующие ионы ванадия в различных степенях окисления, в которых происходит запас энергии в заряженных электролитах. Они состоят из двух разноименно заряженных ионов ванадия, разделённых мембраной. Зарядка вызывает окисление и восстановление ванадия, приводя к увеличению электрического потенциала. Когда батарея разряжается, ионы ванадия проходят через мембрану, создавая электрический ток рис. 2.

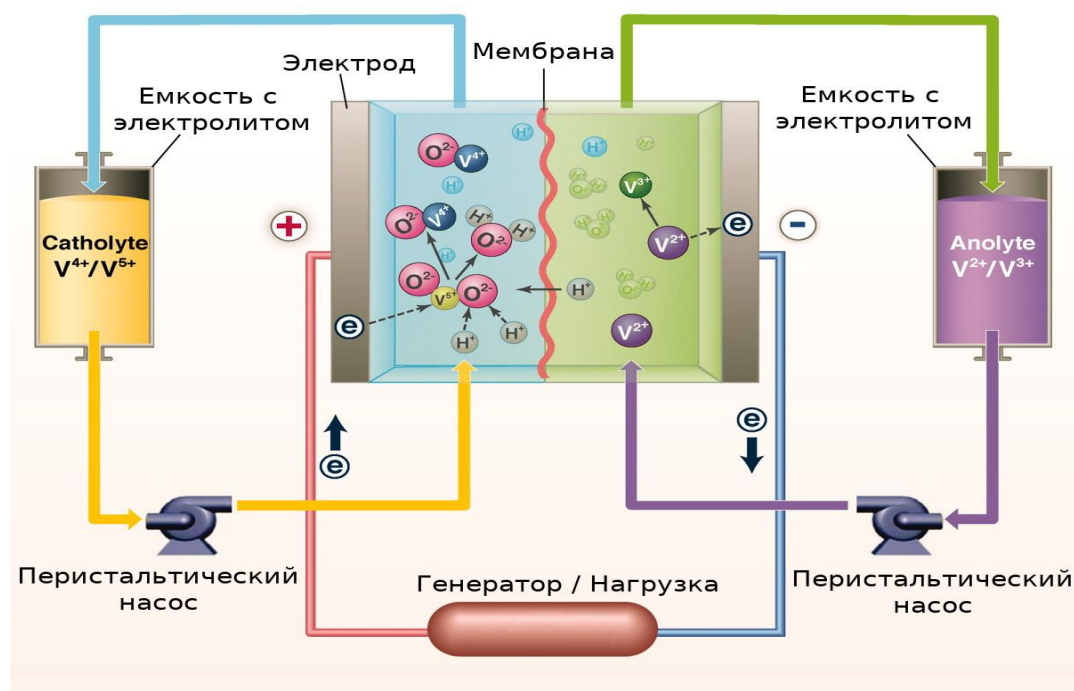


Рис. 2. Схема работы ВПА

Твердотельные аккумулирующие электростанции (ТАЭС) представляют

собой “дом” с множеством мегаваттных лифтов, перевозящих грузы. При поднятии груза энергия накапливается, а при необходимости её использования лифт опускается под действием силы тяжести рис. 3.

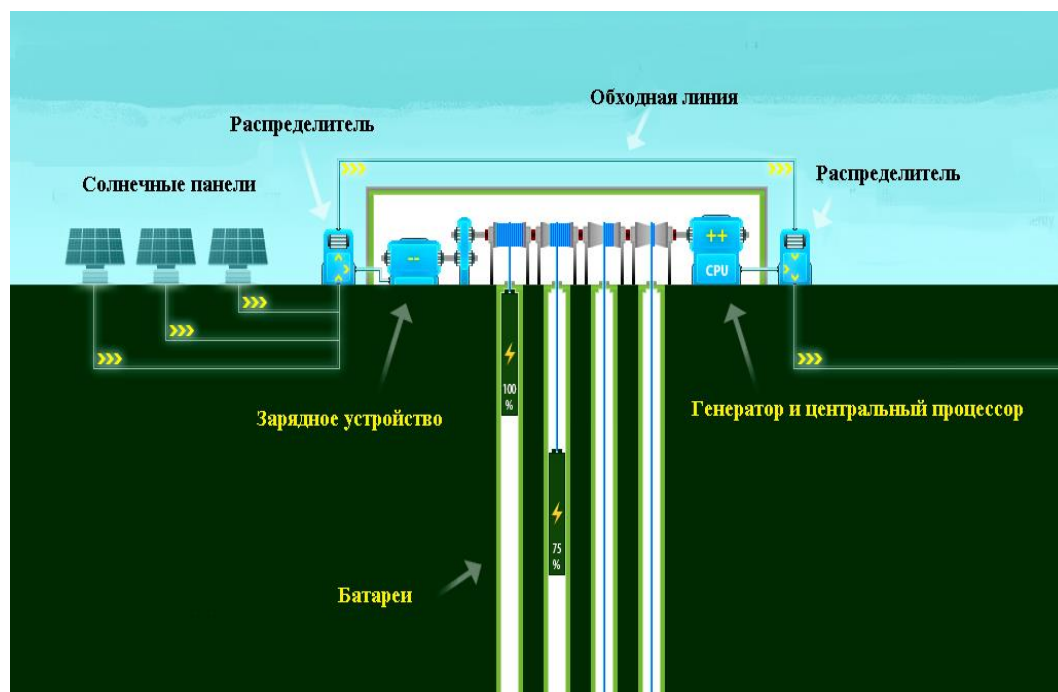


Рис. 3. Схема работы ТАЭС

Накопители водорода (НВ) – экологически чистые энергоносители, продуктом реакции которого является вода. Получают водород путём электролиза и хранят его в сжатом или твердофазном связанном виде, для получения электроэнергии используют электрохимические генераторы или водородосжигающие установки.

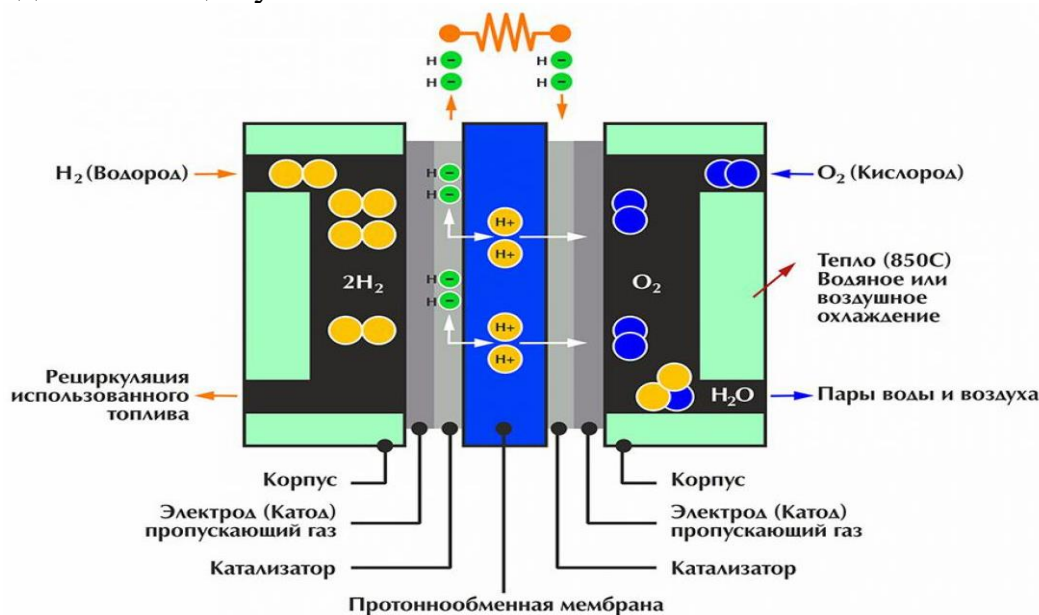


Рис. 4. Схема работы НП

При использовании накопителей СНЭЭ не вся энергия, хранящаяся в них,

используется, вследствие потерь при долгом хранении и сопротивлении при движении зарядов. Конечная выдаваемая накопителем мощность будет меньше запасённой. Можно оценить коэффициент полезного действия, в расчётах мощность накопителей была равна 300 МВт, показатели СНЭЭ представлены в табл. 1.

Расчёт КПД производился по формуле:

$$\eta_w = \frac{w_o}{w_{\pi}} 100\% = \frac{N_o}{N_{\pi}} 100\%,$$

где  $w_o$ ,  $w_{\pi}$  – энергия, отданная при разряде и полученная накопителем при заряде, соответственно;

$N_o$ ,  $N_{\pi}$  – мощность, отданная при разряде и полученная накопителем при заряде, соответственно

Таблица 1

Сравнение мощностей, выдаваемых СНЭЭ

Наименование КПД при использовании в накопительных ВП	Н	СНЭЭ	Номинальная мощность	Отдаваемая мощность	КПД
	Вид накопителя				
			МВт	МВт	%
	Гидроаккумулирующие электростанции	ГАЭС	300	218±9	72±3
	Ванадиевые проточные аккумуляторы	ВПА	300	240±6	80 ± 2
	Твердотельные аккумуляторные электростанции	ТАЭС	300	240±6	80 ± 2
	Накопители водорода	НВ	300	180±6	60±2

А и ТАЭС составляет около 80% с относительной погрешностью 2,5% (табл. 1), у ГАЭС 72% с относительной погрешностью 4,2%, а у НВ наименьший КПД 60% с относительной погрешностью 3,3% (рис. 5).

Для выбора накопителя кроме КПД нужно учитывать экономическую эффективность и срок эксплуатации, для этого введем комплексный показатель эффективности. Найдем затраты на накопление и затем потребление единицы мощности, для этого затраты миллионах рублей разделим на срок эксплуатации затем разделим на КПД в долях. Показатель эффективности будет показывать затраты на 1 кВт в миллионах руб на 1 год.



Рис.5. Мощность, выдаваемая рассмотренными накопителями

Таблица 2

Показатель эффективности СНЭЭ

Вид накопителя	КПД	Экономическая эффективность	Срок службы	Показатель эффективности
		млн. руб	лет	млн.руб/лет
ТАЭС	0,80	2,884	35±5	0,103
ГАЭС	0,72	11,288	50±2	0,314
ВПА	0,80	7,224	25±5	0,361
НП	0,60	6,750	20±1	0,563

ости самый лучший, то есть, чтобы получить единицу энергии нужно затратить наименьшее количество денег при расчете на один год (табл. 2). Причем показатель эффективности отличается более чем в три раза от ГАЭС и ВПА и более 5 раз от НП.

В результате рассмотрения эффективности накопителей ТАЭС, ГАЭС, ВПА, НП нами было установлено, что для оценки эффективности накопителя нужно учитывать экономические затраты, срок эксплуатации и КПД сохранения энергии. Предложен показатель эффективности накопителя, который определяет стоимость накопленной, а затем потребленной электроэнергии.

Лучший показатель эффективности у ТАЭС следовательно при

использовании СНЭЭ наиболее выгодным с физико-экономической точки зрения являются твердотельных аккумулирующие электростанции.

Полученные результаты могут быть использованы промышленными предприятиями при принятии решения в выборе современных источников накопления энергии.

### **Список литературы:**

1. Energy storage systems in Russia: an injection of sustainable development [Электронный ресурс]. URL: <https://vygon.consulting/en/products/issue-1828/> (дата обращения: 15.09.2022)

2. Мировой рынок накопителей энергии [Электронные ресурсы]. URL: <https://mig-energo.ru/kineticheskie-nakopiteli-energii/mirovoj-rynok-nakopitelej-energii/> (дата обращения: 15.09.2022)

3. Козлов С.В., Киндряшов А.Н., Соломин Е.В. Анализ эффективности систем накопления энергии // Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”. 2015. № 2 (166). С. 10–15.

4. Годяева М. В., Казаринов И. А., Воронков Д. Е., Олискевич В. В., Остроумов И. Г. Проточные батареи на основе органических редокс-систем для крупномасштабного хранения электрической энергии // Электрохимическая энергетика. 2021. Т. 21, № 2. С. 59–85.